

УДК 629.7.084

## ФОРМИРОВАНИЕ НОРМ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, МАТЕРИАЛОВ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТОиР

С.В. ДАЛЕЦКИЙ, Е.С. ДАЛЕЦКИЙ, Д.С. ГАФУРОВ

В процессе эксплуатации воздушных судов (ВС) производится замена многих изделий комплектации по отработке установленных ресурсов и сроков службы или по отказу. Формирование потребности эксплуатанта в заменяемых изделиях во многом определяет эффективность эксплуатации типа ВС и конкретных экземпляров, поскольку недостаток изделий вызывает простои ВС, а избыток изделий омертвляет средства, затраченные на их приобретение. Эти процессы регулируются нормами расхода запасных частей, материалов и инструмента, необходимых и достаточных для обеспечения эксплуатации ВС.

В данной работе рассмотрены условия формирования норм расхода ЗИП для технического обслуживания и ремонта ВС и приводятся расчетные выражения по формированию этих норм в действующих условиях разработки, изготовления и эксплуатации ВС отечественного производства на различных этапах их жизненного цикла.

**Ключевые слова:** воздушное судно, комплектующее изделие, норма расхода, запасная часть, эксплуатант, разработчик, поставщик, эксплуатация, изготовление, техническое обслуживание, ремонт.

Формирование планируемых потребностей эксплуатантов в материалах, запчастях и инструменте, в том числе применяемые методики расчета норм и расчетные условия, номенклатура и удельные нормы расхода материалов, применяемых при ТОиР, особенности поставки ЗИП, в том числе плановых поставок вместе с ВС и внеплановых поставок изделий, материалов и инструмента для восстановления поврежденных ВС, является фактором обеспечения эффективности эксплуатации ВС каждого типа.

Потребности в выпуске комплектующих изделий, основанные на вероятностных (статистических) методах расчетов, применяются при следующих условиях [1]:

- нормы расхода устанавливаются и рассчитываются для ожидаемых условий эксплуатации ВС, разрабатываются и уточняются для начальной стадии и длительной эксплуатации (последняя исчисляется по истечении 5 лет с начала серийного производства ВС данного типа, двигателя, агрегата);
- ответственными за разработку норм расхода запасных частей на ВС, подготовленное к серийному производству, являются предприятия-разработчики ВС, двигателя, комплектующего изделия (КИ). В дальнейшем ответственными за разработку и уточнение норм расхода в течение первых пяти лет эксплуатации ВС с начала серийного производства являются предприятия-изготовители ВС, двигателя, КИ;
- ответственным за разработку норм расхода на длительной стадии эксплуатации является потребитель (Эксплуатант).

При разработке норм под расходом запасных частей понимается количество составных частей ВС, двигателя, КИ, подлежащих замене и списанию в результате отказа или выработки ресурса.

Нормы на техническое обслуживание включают расход запасных частей на все виды работ, проводимых в эксплуатационных подразделениях, при этом сборочные единицы, снимаемые для проведения восстановительных работ в эксплуатационном подразделении или на ремонтном предприятии, в эти нормы не включаются. В этих случаях учитывается расход составных частей, входящих в сборочные единицы и подлежащих замене и списанию, соответственно в нормах на ТО ВС (при восстановлении в эксплуатационном подразделении) или в нормах на ремонт сборочной единицы (при восстановлении на ремонтном предприятии).

Таким образом, предусматривается разработка норм расхода на двух уровнях:

- 1-й уровень – ТОиР ВС (раздельно для технического обслуживания и для ремонта);
- 2-й уровень – ремонт КИ, включая двигатель.

Основными задачами нормирования расхода запасных частей являются:

- расчет и анализ плановых и фактических показателей деятельности эксплуатационных подразделений и ремонтных предприятий;
- расчет потребности в запасных частях;
- разработка балансов и планов распределения запасных частей (включая расчет потребности в запасных частях), формирование проекта плана производства запасных частей, планирование авиационно-технического обеспечения;
- контроль и учет использования запасных частей в производстве и товаропроводящей сети.

Разработка норм расхода в рамках Программы ТОиР имеет своей целью оценку экономических характеристик системы ТОиР [2]:

- при определении экономической эффективности вариантов системы ТОиР, в частности, при выборе методов технической эксплуатации (т. е. при формировании самой Программы ТОиР);
- при формировании эксплуатационного «лица» создаваемого ВС.

В этом случае необходимо объединение норм расхода запасных частей различного уровня в одну интегральную характеристику – «Нормы расхода запасных частей на ТОиР ВС» с включением в них норм расхода на ремонт КИ.

Нормы на ТО ВС устанавливаются на 100 ч налета, а нормы на капитальный (средний) ремонт ВС, двигателя, КИ – на один ремонт данного вида. Сведение этих норм в единые нормы расхода на ТОиР ВС осуществляется путем учета ожидаемого количества ремонтов за время эксплуатации ВС и приведением их к единой размерности – на 100 ч налета. При безремонтной эксплуатации ВС нормы расхода на ремонт включаются в нормы расхода на ТО. Рекомендуемый подход к формированию норм рассмотрен ниже.

Начальным этапом формирования норм расхода запасных частей является определение их номенклатуры. Номенклатура запасных частей – это классифицированный в определенном порядке перечень деталей, сборочных единиц, требуемых для замены отказавших и выработавших ресурс КИ при проведении ТОиР ВС.

При разработке проекта норм расхода для ВС в номенклатуру запасных частей включаются:

- все КИ и агрегаты, входящие в Программу ТОиР ВС;
- детали и составные части этих агрегатов (сборочных единиц), замена которых предусмотрена при ремонте последних, которые включаются в нормы расхода запасных частей при капитальном (среднем) ремонте агрегатов (КИ).

Формирование комплектов деталей на замену осуществляется:

- по определенному параметру сопряжения (совместно обработанные, сбалансированные, подобранные селективным методом и т. п.);
- на основании анализа проведения ТОиР ВС, когда признана технико-экономически целесообразной одновременная совместная замена нескольких составных частей.

В номенклатуру запасных частей не включаются:

- детали и сборочные единицы, замена которых признана невозможной или технико-экономически нецелесообразной;
- детали и сборочные единицы, плановая замена которых не регламентирована эксплуатационной и ремонтной документацией и по которым (по аналогам которых) отсутствует информация об отказах, устраняемых заменой в процессе испытаний и эксплуатации (безотказные детали и сборочные единицы);
- детали к неремонтируемым сборочным единицам.

Расчет норм производится в натуральном и стоимостном выражении, при этом размер оборотного фонда запасных частей не учитывается, так как это функция Эксплуатанта.

Установление норм расхода в стоимостном выражении осуществляется на основании норм в натуральном выражении и прейскурантных или договорных цен [1]:

$$N_{ci} = N \cdot C, \quad (1)$$

где  $N_{ci}$  – норма расхода запасной части  $i$ -го наименования в стоимостном выражении;  
 $N_{ni}$  – норма расхода запасной части данного наименования в натуральном выражении;  
 $C_i$  – цена (прейскурантная или договорная) запасной части данного наименования.

Норма расхода запасных частей в целом на техническое обслуживание или капитальный (средний) ремонт ВС, двигателя, КИ рассчитывается как сумма норм расхода по всей номенклатуре:

$$N_{cm} = \sum_{i=1}^I N_{ci}, \quad (2)$$

где  $N_{cm}$  – норма расхода запасных частей в целом на техническое обслуживание и ремонт ВС, двигателя, агрегата;

$i$  – общее количество наименований, входящих в номенклатуру запасных частей.

Принимаются следующие общие принципы расчета норм расхода запчастей.

1. Расчет норм расхода на ТО неремонтируемых изделий.

Для неремонтируемых изделий нормы расхода рассчитываются отдельно на плановые и внеплановые замены при ТО.

Нормы расхода запасных частей на плановые замены определяются на основании величины назначенного ресурса ВС и периодичности форм периодического ТО, при которых производится обязательная замена изделий, например, крепежные элементы разового пользования и т. п.

Расчет норм расхода на детали и сборочные единицы, замена которых предусмотрена при периодическом ТО, определяется из выражения (на 100 часов)

$$N_{ij} = \left( \frac{m_{ij}}{\tau_{ij}} \right) \cdot 100, \quad (3)$$

где  $N_{ij}$  – норма расхода запасной части  $i$ -го наименования, замена которой предусмотрена при выполнении  $j$ -й формы;

$m_{ij}$  – количество деталей, сборочных единиц  $i$ -го наименования, подлежащих замене при  $j$ -й форме;

$\tau_{ij}$  – периодичность выполнения  $j$ -й формы для  $i$ -го изделия.

По формуле (3) рассчитываются нормы для всех форм, а итог определяется суммированием результатов по всем формам

$$N_{ij} = \sum_{j=1}^J N_{tij}, \quad (4)$$

где  $N_{tij}$  – норма расхода запасной части  $i$ -го наименования при  $j$ -м ТО;

$J$  – количество форм периодического ТО.

Норма расхода неремонтируемых изделий на замены по выработке ими назначенного ресурса может быть получена из выражения (на 100 часов)

$$N_{ti} = (F_{ni} / T_{ni}) \cdot b_i \cdot 100, \quad (5)$$

где  $N_{ti}$  – норма расхода на плановые замены детали (сборочной единицы)  $i$ -го наименования на одно ВС, установленная на основании величины назначенного ресурса;  
 $T_{ni}$  – величина назначенного ресурса детали (сборочной единицы)  $i$ -го наименования;  
 $b_i$  – количество деталей (сборочных единиц)  $i$ -го наименования, установленных на ВС;  
 $F_{ni}$  – значение функции распределения отказов детали (сборочной единицы)  $i$ -го наименования при отработке назначенного ресурса  $T_{ni}$ .

При отсутствии данных о виде закона распределения отказов детали принимается допущение об экспоненциальном законе. Тогда

$$F_{ni} = p_i \cdot \lambda_i \cdot T_{ni} \quad (6)$$

где  $\lambda_i$ ,  $T_{ni}$  – соответственно интенсивность отказов, назначенный ресурс детали или сборочной единицы  $i$ -го наименования;  
 $p_i$  – коэффициент, учитывающий долю замен в общем количестве отказов.  
 Для изделий с возрастающей по наработке интенсивностью отказов такая оценка вероятности является оценкой сверху.

Нормы расхода запасных частей на внеплановые замены неремонтируемых изделий разрабатываются с использованием норм расхода аналогичных изделий на ВС-аналогах, прошедших длительную эксплуатацию.

При отсутствии таких норм расчет осуществляется по выражению (на 100 часов)

$$N_{TB} = (1 / T_{ci}) \cdot p_i \cdot b_i \cdot 100, \quad (7)$$

где  $N_{TB}$  – норма расхода неремонтируемых деталей (сборочных единиц) данного наименования на внеплановые замены.

В случае когда запасная часть подлежит одновременно и плановым и внеплановым заменам, суммарная норма определяется сложением результатов расчета по формулам (4), (5), (7).

## 2. Расчет норм расхода ремонтируемых изделий на ТОиР.

Для ремонтируемых составных частей (агрегатов) ВС правила расчета норм расхода определяются в зависимости от того, каким образом для данного агрегата установлен порядок списания. Ниже рассмотрены три основных случая при которых списание производится:

- 1) лишь в случае признания невозможности или экономической нецелесообразности ремонта агрегата и дальнейшей его эксплуатации (аварийные агрегаты);
- 2) по выработке назначенного ресурса агрегата;
- 3) при достижении предельно допустимого количества ремонтов агрегата.

Первоначально для ремонтируемых агрегатов определяется количество их замен (съемов с борта ВС) как плановых по выработке ресурса, так и внеплановых из-за отказов.

Количество внеплановых замен ремонтируемых агрегатов определяется по формуле, аналогичной (7):

$$K_{звi} = (1 / T_{ci}) \cdot p_i \cdot b_i \cdot 100, \quad (8)$$

где  $K_{звi}$  – количество внеплановых замен на 100 ч налета.

Количество плановых замен по выработке ресурса определяется по формулам, аналогичным формулам (5), (6), с заменой в них величины назначенного ресурса величиной межремонтного ресурса:

$$K_{зми} = (F_{pi} / T_{pi}) \cdot b \cdot 100, \quad (9)$$

где  $K_{зми}$  – количество плановых замен по выработке межремонтного ресурса агрегата данного наименования;  
 $T_{pi}$  – межремонтный ресурс агрегата данного наименования;  
 $F_{pi}$  – значение функции распределения отказов агрегатов данного наименования межремонтного ресурса.

Как и в случае выражения (6),

$$F_{pi} = p \cdot w_i \cdot T_{pi}, \quad (10)$$

где  $w_i$  – параметр потока отказов агрегатов  $i$ -го наименования.

Суммарное количество плановых и внеплановых замен определяется сложением результатов расчета по (8) и (9):

$$K_{зи} = K_{звi} + K_{зми}. \quad (11)$$

Норма расхода агрегатов  $i$ -го наименования при техническом обслуживании ВС определяется как количество списанных агрегатов, приходящееся на 100 ч налета ВС.

По аварийным агрегатам

$$N_{tai} = \alpha_i \cdot K_{зи}, \quad (12)$$

где  $N_{tai}$  – норма расхода агрегатов, списанных в результате установления невозможности или нецелесообразности их ремонта;

$\alpha_i$  – относительное количество таких агрегатов в общем количестве снятых в процессе эксплуатации.

Коэффициент  $\alpha_i$  устанавливается экспертно или по статистике аналога. При отсутствии данных допускается применение значения  $\alpha = 0$ .

По ремонтируемым агрегатам, списываемым в результате выработки назначенного ресурса,

$$N_{ti} = (1 / T_{Hi}) \cdot b_i \cdot 100. \quad (13)$$

По агрегатам, списываемым в результате достижения предельно допустимого количества ремонтов,

$$N_{tgi} = K_{зи} / (m + 1), \quad (14)$$

где  $N_{tgi}$  – норма расхода агрегатов  $i$ -го наименования, списанных по достижении предельно допустимого количества ремонтов;

$m$  – допустимое количество ремонтов агрегата данного наименования.

Полученные значения количества замен  $K_z$  и норм расхода (количества списаний) агрегата при техническом обслуживании ВС используются для определения количества ремонтов агрегата  $i$ -го наименования в расчете на 100 ч налета ВС:

$$K_{зи} = K_{зи} + N_{ti}, \quad (15)$$

где  $N_{ti}$  – норма расхода агрегата данного наименования на ТО ВС (в зависимости от порядка списания агрегата эта норма равна  $N_{tai}$ ,  $N_{ti}$  или  $N_{tgi}$ ).

С учетом (15) осуществляется приведение на 100 ч полета ВС норм расхода деталей и сборочных единиц, входящих в состав  $i$ -го агрегата, при его ремонте:

$$N_{pni} = K_{pi} \cdot N_{pi}, \quad (16)$$

где  $N_{pni}$  – приведенная к 100 ч налета норма расхода детали (сборочной единицы)  $i$ -го наименования, расходуемой при ремонте агрегата;

$N_{pi}$  – норма расхода детали (сборочной единицы) на ремонт агрегата, которая составляется разработчиком агрегата.

Следует отметить, что оценки расхода запасных частей, сделанные с помощью приведенной выше методики, являются довольно приближенными и применяются на начальном этапе формирования системы ТОиР ВС для общей оценки эффективности эксплуатации ВС данного типа.

Для практической оценки норм расхода запчастей в процессе эксплуатации ВС до списания Эксплуатанту рекомендуется руководствоваться показателями долговечности изделий и агрегатов, приведенными в паспортах и формулярах и руководстве по технической эксплуатации ВС при следующих условиях.

1. Для изделий, имеющих ресурс до списания (полный назначенный ресурс) равным или более аналогичного ресурса ВС, потребность в ЗИП определяется вероятностью невосстанавливаемого отказа изделия за этот период наработки:

$$N_i = T_{\text{нвс}} \cdot \lambda_i, \quad (17)$$

где  $T_{\text{нвс}}$  – ресурс до списания ВС;

$\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го изделия;

$N_i$  – норма расхода ЗИП в натуральном выражении.

2. Для изделий, имеющих ресурс до списания менее аналогичного ресурса ВС, потребность в ЗИП определяется как сумма замен изделий по отработке ресурса плюс сумма вероятностей появления невосстанавливаемого отказа изделия:

$$N_i = T_{\text{нвс}} / T_{ni} + T_{ni} \cdot \lambda_i, \quad (18)$$

где  $T_{ni}$  – ресурс до списания  $i$ -го изделия.

Для обеспечения функционирования ВС без простоев из-за отсутствия запчастей Эксплуатант формирует оборотный фонд ремонтируемых изделий и пополняемый фонд неремонтируемых изделий на замену отказавших. Условия формирования этих фондов, их обеспечение определяются условиями поставки или в соответствии с договором.

Перечни ЗИП и нормы их расхода должны приводиться в соответствующих типовых эксплуатационных и ремонтных документах, согласно ТУ или договорам поставки.

Вместе с ВС обычно поставляются:

- перечни одиночного комплекта ЗИП, поставляемого с каждым ВС;
- перечни групповых комплектов ЗИП, поставляемых Эксплуатанту для группы ВС (например, 1 : 5) или в другом соотношении, по согласованию с Эксплуатантом.

Дальнейшее обеспечение Эксплуатанта ЗИП материалами и оборудованием возможно следующими способами:

- непосредственно Поставщиком ВС на основе договоров с Эксплуатантом, определяющим условия, номенклатуру и сроки поставки, в том числе и внеплановые поставки отдельных изделий;
- централизованно, через региональные или отраслевые органы снабжения на основе договоров с эксплуатантами и Поставщиками ВС и изделий;

- на основе договоров Поставщика и Эксплуатанта о сервисном обслуживании ВС в процессе его технической эксплуатации. В этом случае Поставщик обеспечивает поставку ЗИП непосредственно по каждой заявке Эксплуатанта, в согласованные сроки, в том числе и по восстановлению ВС путем замены отказавшего изделия или его ремонта и по другим сервисным услугам.

Эксплуатант выбирает способ обеспечения своих потребностей в ЗИП для эффективной эксплуатации ВС с оформлением соответствующих договоров с Поставщиком ВС или снабженческими организациями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. М.: Воздушный транспорт, 2005. 416 с.

2. Далецкий С.В. Формирование системы инженерно-авиационного обеспечения технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации в современных условиях // Сборник научных трудов ГосНИИ ГА. 2010. № 311. С. 125–131.

## THE FORMATION OF THE CONSUMPTION RATE OF SPARE PARTS, MATERIALS AND TOOLS FOR MAINTENANCE AND REPAIR

**Daletskiy S.V., Daletskiy E.S., Gafurov D.S.**

While in operation aircraft components are replaced due to the end of their service life or failure. Needs formation of the operator in the replaceable components considerably determines the operating efficiency of the aircraft type and particular airplanes, as lack of components causes aircraft downtime and oversupply deadens the funds spent to purchase them. These processes are regulated by norms of consumption of materials and tools spare parts necessary and sufficient for aircraft operation.

This work considers the conditions of formation of spare parts rate of consumption for aircraft maintenance and repair and provides the calculations on the formation of these norms in current development conditions, manufacture and operation of domestically produced aircraft at various stages of their life cycle.

**Key words:** aircraft, component, rate of consumption, spare part, operator, developer, supplier, operation, manufacture, maintenance, repair.

## REFERENCES

1. Daleckiy S.V. Formirovanie ekspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik vozdushnykh sudov grazhdanskoy aviatsyi. M.: Vozdushnyy transport. 2005. P. 416. (In Russian).

2. Daleckiy S.V. Formirovanie sistemy inzhenerno-aviatsionnogo obespecheniya tekhnicheskoi ekspluatatsii vozdushnykh sudov grazhdanskoy aviatsyi v sovremennykh usloviyakh. Sbornik nauchnykh trudov GosNII GA. 2010. № 311. Pp. 125–131. (In Russian).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Далецкий Станислав Владимирович**, доктор технических наук, начальник отдела ГосНИИ ГА, Заслуженный работник транспорта РФ, Почетный авиастроитель РФ, академик Российской академии транспорта и Российской академии проблем качества, эксперт Госстандарта РФ и Межгосударственного авиационного комитета, v.samoilenko@mstuca.aero.

**Далецкий Евгений Станиславович**, кандидат технических наук, руководитель проектов, Московская городская телефонная сеть, v.samoilenko@mstuca.aero.

**Гафуров Джалолиддин Садруддинович**, окончил аспирантуру МГТУ ГА (2014), v.samoilenko@mstuca.aero.